

**PEMBENTUKAN MODEL RUANGAN KEGAGALAN CERUN BAGI
SUB-LEMBANGAN HULU SUNGAI LANGAT**

Wan Mohd Muhiyuddin bin Wan Ibrahim

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2005

**PEMBENTUKAN MODEL RUANGAN KEGAGALAN CERUN BAGI
SUB-LEMBANGAN HULU SUNGAI LANGAT**

Oleh

Wan Mohd Muhiyuddin bin Wan Ibrahim

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi
keperluan bagi Ijazah Doktor Falsafah**

Ogos 2005

PENGHARGAAN

Pertamanya saya panjatkan setinggi-tinggi kesyukuran kehadharat Allah s.w.t. kerana dengan limpah kurnia dan HidayahNya saya dapat menyiapkan tesis ini. Terima kasih tidak terhingga kepada Universiti Sains Malaysia (USM) kerana telah menerima saya di bawah skim Rancangan Latihan Kakitangan Akademik (RLKA). Terima kasih tidak terhingga juga diucapkan kepada penyelia saya iaitu Prof Dr Ruslan Rainis di atas bimbingan yang diberikan tanpa pernah merasa jemu, memberi tunjuk-ajar yang berguna serta memberi semangat untuk menjadi yang terbaik. Tidak lupa kepada pensyarah-pensyarah di Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan (PPIK) terutamanya pensyarah bahagian geografi yang sudi berkongsi ilmu, memberi teguran yang berguna, selalu bertanya khabar dan memberi semangat serta harapan kepada saya terutamanya Prof Madya Dr Norizan Md. Nor (Dekan PPIK), Prof Madya Dr. Wan Ruslan Ismail, Dr. Zullyadini, Dr. Tarmiji Masron, Dr. Narimah dan Dr Anisah yang selalu bertanya khabar dan memberi semangat serta tunjuk ajar. Terima kasih juga diucapkan kepada keluarga tercinta iaitu bonda yang selalu mendoakan kejayaan anakanda, isteri iaitu Dr Haslina Hasan dan anak-anak iaitu Najmuddin, Hasanuddin dan Husna, keluarga di Kuala Ibai dan di Parit Buntar yang selalu memberi dorongan dan semangat. Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada rakan-rakan seperjuangan yang memberi tunjuk ajar dan semangat iaitu Prof Madya Dr Zakaria Mat Arof, En. Kamarul Ismail, En. Aziz Shafie, En. Rosmadi Fauzi, Saleh Bakar dan En. Khairul Anuar Ismail (Kai). Tak lupa kepada rakan baru iaitu Ardian Syah dan Waleed, terima kasih kerana menceriakan suasana dan sudi membantu kerja-kerja akhir untuk mencetak tesis ini. Semoga kalian teruskan perjuangan sehingga kalian mencapai cita-cita. Tidak lupa juga kepada staf sokongan iaitu Cik Sarina, Abang Hasan, En. Azhari, Abang Man dan lain-lain yang sudi membantu sepanjang tempoh menyiapkan tesis ini. Pensyarah dan rakan-rakan di LESTARI, rakan-rakan di Pusat Remote Sensing Negara (MACRES) terutama Azlikamil, Khairul Anam dan Jasmi serta rakan-rakan di Jabatan Mineral dan Geosains (JMG) terutama Abg Nurzaidi, terima kasih di atas sokongan dan berkongsi idea. Kepada semua yang terlibat secara langsung dan tidak langsung dalam penyediaan tesis ini, sekali lagi diucapkan terima kasih. Hanya Allah yang akan membalas jasa kalian. Terima kasih.

Yang Benar,

Wan Mohd Muhiyuddin bin Wan Ibrahim
(PhD 0089)

JADUAL KANDUNGAN

	HALAMAN
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI RAJAH	vii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI DAFTAR ISTILAH	Xi
ABSTRAK	Xii
ABSTRACT	xiii
BAB 1 PENGENALAN	
1.1. Latarbelakang	1
1.2. Isu dan Masalah	3
1.2.1. Peningkatan Kejadian Kegagalan Cerun	4
1.2.2. Kejadian Kegagalan Cerun Berulang di Kawasan yang Sama atau Berdekatan	9
1.2.3. Kawasan Berisiko Tinggi Tidak Dikenalpasti Secara Sistematis	10
1.2.4. Wujud Kelemahan Kaedah dan Pendekatan Sedia Ada dalam Peramalan dan Pemodelan Kegagalan Cerun	12
1.3. Matlamat dan Objektif	14
1.4. Skop Kajian	16
1.5. Kepentingan Kajian	18
1.6. Organisasi Penulisan Tesis	20
BAB 2 SOROTAN LITERATUR	
2.1. Pengenalan	22
2.2. Kegagalan Cerun	22
2.2.1. Proses Geomorfologi dan Kegagalan Cerun	23
2.2.2. Interaksi Sistem Gunaan Manusia dan Sistem Semulajadi	26
2.2.3. Konsep Bahaya, Bencana, Risiko dan Zon Bencana Kegagalan Cerun	28
2.2.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kegagalan Cerun	30
2.2.5. Pemetaan Kegagalan Cerun	30
2.2.6. Pendekatan dan Halatuju Kajian Kegagalan Cerun di Malaysia	36
2.3. Sistem Maklumat Geografi (GIS) dan Penderiaan Jauh (RS)	43
2.3.1. Halatuju dan Analisis Bencana Menggunakan GIS	45
2.3.2. Sistem Maklumat Geografi (GIS) dan Penderiaan	50

2.4.	Kesimpulan	51
BAB 3	RANGKA KONSEPTUAL DAN METODOLOGI PENYELIDIKAN	
3.1.	Pengenalan	53
3.2.	Rangka Konsep Kajian	53
3.2.1.	Pemilihan Pembolehubah yang Mempengaruhi kegagalan cerun	58
3.2.1.1.	Faktor Pencetus	58
	a) Hujan	58
3.2.1.2.	Faktor Lokasi	60
	a) Jarak di antara Jalan dengan Kegagalan Cerun	60
	b) Jarak di antara Sungai dengan Kegagalan Cerun	61
	c) Jarak di antara Lineamen dengan kegagalan Cerun	62
3.2.1.3.	Faktor Fizikal	65
	a) Litologi	65
	b) Jenis Tanah	67
	c) Zon Degradasi Fizikal	70
	d) Kecuraman Cerun	71
	e) Unit Geomorfologi	72
	f) Aspek (Arah) Cerun	73
	g) Kelengkungan Cerun	74
3.2.1.4.	Faktor Aktiviti Manusia	75
	a) Gunatanah	75
3.3.	Pembentukan Model Ruangan	77
3.3.1.	Formulasi Model Asas	77
3.3.2.	Kaedah Analisis Regresi Logistik	79
	a) Log Likelihoods	81
	b) Menilai Model Fit	81
	c) Pengujian Model Ruangan	83
3.4.	Kesimpulan	83
BAB 4	PEMBANGUNAN PANGKALAN DATA DAN ANALISIS RUANGAN	
4.1.	Pendahuluan	84
4.2.	Pembangunan Data	84
4.2.1.	Peta Titik Kegagalan Cerun	87

4.2.2.	Peta Jalan, Peta Topografi dan Peta Saliran	99
4.2.3.	Peta Indeks Kerpasan Anteseden (API) dan Peta Purata Hujan Tahunan	94
4.2.4.	Peta Lineamen	100
4.2.5.	Jarak di antara Titik Kegagalan Cerun dengan Jalanraya dan Lineamen Utama Serta Ketumpatan Sungai dan Lineamen	108
4.2.6.	Penghasilan Peta Terbitan Topografi	116
4.2.7.	Penghasilan Peta Indeks ROM, Litologi Batuan, Geomorfologi dan Zon Degradasi	124
4.2.8.	Peta Gunatanah	137
4.3.	Analisis Korelasi	141
4.4.	Kesimpulan	142
BAB 5	PEMBENTUKAN MODEL RUANGAN KEGAGALAN CERUN	
5.1.	Pendahuluan	144
5.2.	Model Ruangan Kegagalan Cerun yang Terhasil	145
5.2.1.	Ujian Statistik dalam Pemodelan Ruangan Kegagalan Cerun	149
5.2.2.	Tahap Kepentingan Setiap Pembolehubah bagi Model Asal	152
5.2.3.	Hubungan Tanda Pembolehubah	158
5.3.	Pengujian Model	161
5.4.	Analisis Sensitiviti	162
5.5.	Pembangunan Peta Kebolehhrentanan Kegagalan Cerun Kawasan kajian	165
5.5.1.	Pemetaan Kebolehhrentanan Kegagalan Cerun	165
5.5.2.	Pembentukan Zon Kebolehhrentanan Kegagalan Cerun	169
5.5.3.	Penilaian Ketepatan Peramalan Peta Kebolehhrentanan Kegagalan Cerun	174
5.6.	Perbandingan Model Terhasil dengan Model-Model Terdahulu	175
5.7.	Perlaksanaan Model Ruangan Kegagalan Cerun di Malaysia	178
5.8.	Kesimpulan	180
BAB 6	KESIMPULAN	
6.1.	Pendahuluan	183
6.2.	Rumusan Penyelidikan	184

6.3. Sumbangan Kepada Ilmu dan Masyarakat	186
6.4. Cadangan Penyelidikan Pada Masa Hadapan	187
BIBLIOGRAFI	191
LAMPIRAN A	203
LAMPIRAN B	204
LAMPIRAN C	205
LAMPIRAN D	210
LAMPIRAN E	222
LAMPIRAN F	231
LAMPIRAN G	235

SENARAI RAJAH

RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1.1.	Lokasi kawasan kajian	19
2.1.	Pengelasan susutan darat yang mengambil kira kadar air dan kepantasan pergerakan (Sumber: Varnes (1978))	25
2.2.	Interaksi antara sistem semulajadi dengan sistem gunaan manusia berupaya menghasilkan sumber alam (interaksi positif) dan bahaya alam (interaksi negatif) (Sumber: Uahsuai dari Chan, 2002)	27
2.3.	Pelbagai metodologi penilaian bencana (Sumber: Diubahsuai dari Aleotti dan Chowdhury (1999))	46
3.1.	Ringkasan pembolehubah tak bersandar dan hipotesis tanda	57
3.2.	Ukuran saiz geostruktur yang boleh dipetakan pada pelbagai skala (Sumber: Siegal dan Gillespie, 1980)	63
3.3.	Perbezaan antara tekstur batuan igneus dan sedimen (Sumber: Diubahsuai dari Darrell dan Valerie, 1977)	66
3.4.	Tindakan cerun terhadap kegagalan cerun (Sumber: Ubahsuai dari Montgomery, 1997)	72
4.1.	Carta aliran menunjukkan bagaimana pangkalan data dibangunkan	88
4.2.	Carta aliran penghasilan peta titik kegagalan cerun kawasan kajian	89
4.3.	Peta menunjukkan lokasi kegagalan cerun	91
4.4.	Carta aliran penghasilan peta jalanraya, saliran dan topografi	92
4.5.	Peta topografi kawasan kajian	93
4.6.	Carta aliran penghasilan peta API dan peta purata hujan tahunan	94
4.7.	Peta taburan kegagalan cerun berdasarkan API menggunakan analisis Thiessen	96
4.8.	Graf taburan kes kegagalan cerun mengikut API	97
4.9.	Peta taburan kegagalan cerun berdasarkan purata hujan tahunan	98
4.10.	Graf taburan kegagalan cerun berdasarkan purata hujan tahunan	99
4.11.	Carta alir pemprosesan imej penderiaan jauh (Sumber: Ruslan Rainis dan Noresah Mohd Shariff (1998))	101
4.12.	Pendekatan atau pengelasan peringkat pemprosesan imej satelit (Sumber: Murai (1993))	102
4.13.	Beberapa jenis penuras yang digunakan dalam pembentukan lineamen	105
4.14.	Peta-peta yang dijadikan asas dalam pembentukan peta lineamen yang menggunakan penuras tertentu	107
4.15.	Carta aliran menunjukkan bagaimana beberapa data dalam bentuk garisan dipersembahkan	108
4.16.	Peta taburan kegagalan cerun mengikut jarak terdekat antara titik kegagalan cerun dengan jalanraya	109
4.17.	Graf menunjukkan taburan kegagalan cerun mengikut kelas jarak (m) ke jalanraya	110
4.18.	Peta menunjukkan taburan titik kegagalan cerun mengikut	111

	jarak terdekat ke lineamen utama	
4.19.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut jarak (m) ke lineamen utama	112
4.20.	Peta menunjukkan taburan titik kegagalan cerun mengikut ketumpatan sungai	113
4.21.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut jarak (m) di antara titik kegagalan cerun dan ketumpatan sungai	114
4.22.	Peta taburan kegagalan cerun mengikut ketumpatan lineamen	115
4.23.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut ketumpatan lineamen	116
4.24.	Carta aliran penghasilan peta terbitan dari peta topografi	117
4.25.	Taburan titik kegagalan cerun mengikut keadaan topografi kawasan kajian yang dijana dengan menggunakan Model Ketinggian Berdigit (DEM)	118
4.26.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut DEM yang dibangunkan dari peta topografi	119
4.27.	Peta taburan titik kegagalan cerun mengikut kecuraman cerun	119
4.28.	Taburan kegagalan cerun mengikut kecuraman cerun (darjah)	120
4.29.	Peta taburan kegagalan cerun mengikut aspek cerun	121
4.30.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut aspek cerun	122
4.31.	Peta taburan kegagalan cerun mengikut kelengkungan cerun	123
4.32.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut kelengkungan cerun	124
4.33.	Carta aliran penghasilan peta litologi batuan, siri tanah, unit geomorfologi dan zon degradasi	125
4.34.	Segitiga komposisi mekanikal tanah bagi meringkaskan pelbagai gabungan pasir lodak dan lempung (Sumber: Ubahsuai dari United States (US) Military Engineering, 1976)	126
4.35.	Peta taburan titik kegagalan cerun mengikut siri tanah	128
4.36.	Carta aliran menunjukkan penghasilan peta Indeks ROM	129
4.37.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut jenis tanah	130
4.38.	Peta taburan titik kegagalan cerun mengikut litologi batuan	131
4.39.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut litologi batuan	132
4.40.	Peta unit geomorfologi kawasan kajian	133
4.41.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut geomorfologi	134
4.42.	Peta taburan kes kegagalan cerun mengikut zon degradasi kawasan kajian	135
4.43.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut zon degradasi	136
4.44.	Peta gunatanah kawasan kajian tahun 1996	137
4.45.	Carta aliran penghasilan peta gunatanah	139
4.46.	Peta gunatanah tahun 1998	140
4.47.	Graf taburan kegagalan cerun mengikut jenis gunatanah	141
5.1.	Plot klasifikasi kes kegagalan cerun kawasan kajian	152
5.2.	Taburan kegagalan cerun berdasarkan aspek	157
5.3.	Jumlah purata hujan tahunan berbanding bilangan kes kegagalan cerun	160
5.4.	Taburan kes kegagalan cerun mengikut API	161
5.5.	Graf ketepatan berbanding cara pengambilan sampel	164
5.6.	Ilustrasi langkah dalam pemetaan kegagalan cerun	168
5.7.	Peta kebolehtahanan kegagalan cerun	169
5.8.	Rajah menunjukkan nilai probabiliti kebolehtahanan kegagalan cerun dan asas pengelasan yang digunapakai dalam pengezonan kegagalan cerun	172
5.9.	Zon kebolehtahanan kegagalan cerun	173

SENARAI JADUAL

JADUAL	TAJUK	HALAMAN
1.1.	Kegagalan cerun utama di Malaysia	5
1.2.	Rekod fenomena kegagalan cerun di Malaysia yang disiarkan di dada akhbar	5
1.3.	Rekod kegagalan cerun di Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat	8
1.4.	Rekod isipadu dan saiz kegagalan cerun di Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat	8
2.1.	Proses geomorfologi yang bertindak membentuk geomorfologi bumi	24
2.2.	Pengelasan umum pergerakan cerun yang digunakan	26
2.3.	Jenis-jenis bahaya dan pembahagiannya	29
2.4.	Kajian literatur tentang faktor pembolehubah dan metodologi yang digunakan oleh pengkaji terdahulu	31
2.5.	Ringkasan jenis pemetaan kegagalan cerun dan ciri-cirinya	33
2.6.	Kajian terdahulu tentang kegagalan cerun yang dilakukan di Malaysia	42
2.7.	Ringkasan tentang jenis-jenis analisis bencana	47
3.1.	Panjang dan perwakilan jenis lineamen	64
3.2.	Ringkasan tekstur batuan igneus, sedimen dan metamorf	66
3.3.	Ciri-ciri kejuruteraan beberapa jenis batuan	67
3.4.	Ringkasan beberapa sifat mekanik tanah serta tahap kestabilannya	69
3.5.	Jenis mineral lempung dan Had Atterbergnya	69
3.6.	Ciri-ciri fizikal setiap zon di kawasan kajian	71
3.7.	Jenis unit morfologi dan ciri-cirinya serta tahap kestabilan masing-masing	73
3.8.	Ringkasan pembolehubah tak bersandar dan hipotesis tanda	78
4.1.	Senarai data-data ruangan yang digunakan dalam kajian	86
4.2.	Taburan kes kegagalan cerun mengikut Indeks Kerpasan Antecedent (API)	97
4.3.	Taburan kes kegagalan cerun mengikut purata hujan tahunan	99
4.4.	Ciri jalur-jalur data satelit Landsat TM generasi ke 5 serta kegunaannya. (Lillesand dan Kiefer, 1987)	104
4.5.	Bilangan kes kegagalan cerun serta peratusannya	110
4.6.	Bilangan kes kegagalan cerun dan peratusannya mengikut jarak terdekat ke lineamen utama	111
4.7.	Bilangan kes kegagalan cerun dan peratusannya mengikut ketumpatan sungai	113
4.8.	Bilangan kes kegagalan cerun dan peratusannya mengikut ketumpatan lineamen	113
4.9.	Bilangan kes kegagalan cerun mengikut ketinggian topografi	118
4.10.	Bilangan kes kegagalan cerun mengikut kecuraman cerun	120
4.11.	Bilangan kes kegagalan cerun mengikut aspek cerun	122
4.12.	Bilangan kes kegagalan cerun mengikut kelengkungan	

	cerun	124
4.13.	Pengelasan semula siri tanah mengikut US Military Engineering (1976)	126
4.14.	Indeks ROM yang diperolehi mengikut jenis tanah	127
4.15.	Taburan kegagalan cerun mengikut jenis tanah	130
4.16.	Taburan kegagalan cerun mengikut litologi batuan	132
4.17.	Taburan kegagalan cerun mengikut keadaan geomorfologi	134
4.18.	Taburan kegagalan cerun mengikut zon degradasi	136
4.19.	Taburan kegagalan cerun mengikut jenis gunatanah	140
4.20.	Korelasi Pearson yang dilakukan terhadap data dalam bentuk nisbah	143
5.1.	Ringkasan data pembolehubah ruangan	147
5.2.	Ringkasan taburan sampel yang digunakan dalam analisis	148
5.3.	Hasil analisis regresi logistik bagi pembentukan model ruangan kegagalan cerun	148
5.4.	Nilai -2 Log Likelihood pada blok 0	149
5.5.	Nilai -2 Log likelihood pada blok 1	149
5.6.	Nilai Chi-kuasa dua dengan tahap signifikan $\alpha < 0.0001$	149
5.7.	Jadual klasifikasi peramalan kegagalan cerun	150
5.8.	Ujian Hosmer dan Lemeshow	150
5.9.	Pembolehubah bebas yang telah dipiawaikan nilai β nya (<i>Standardise</i>)	154
5.10.	Perbandingan hubungan tanda secara teori dan pemodelan	159
5.11.	Sensitiviti analisis dengan kombinasi lokasi yang berbeza	164
5.12.	Senarai pembolehubah signifikan dan nilai β	165
5.13.	Taburan kes kegagalan cerun berbanding kelas P (probabiliti)	170
5.14.	Analisis peta zon kebolehtahanan kegagalan cerun	172
5.15.	Kedudukan titik kegagalan cerun baru dan jarak terdekatnya serta kedudukannya dalam zon kebolehtahanan kegagalan cerun	173
5.16.	Kajian perbandingan model yang dibangunkan oleh beberapa pengkaji terdahulu	176

SENARAI DAFTAR ISTILAH

Bahasa Inggeris	Bahasa Malaysia
Bareland	Kawasan Terbuka
Estimated Probability	Anggaran Kebarangkalian
Rank	Diperingkat
Isolated Hill	Perbukitan Terpencil
Residual Soil	Tanah Sisa
Head	Puncak
Spatial Structure	Struktur Ruang
Surface Analysis	Analisis Permukaan
Goodness of Fit	Kebagusan Penyuaian
Fit	Penyuaian
Deciles	Persepuluh
Likelihood	Kebolehjadian
Distance Analysis	Analisis Jarak
Density Analysis	Analisis Ketumpatan / kepadatan
Grey Scale	Skala Kelabu
Supervised Classification	Pengkelasan Berselia
Image Enhancement	Penonjolan Imej
Slope failure Susceptibility	Kebolehtahanan Kegagalan Cerun
Ranking Order	Order Pemeringkatan
Straight Order	Order Secara Lurus
Reverse	Songsang
Global Positioning System	Sistem Kedudukan Global
Spatial Enhancement	Penonjolan Ruang
Curvature	Kelengkungan
Concave	Cekung
Convex	Cembung
Image Calculator	Pengiraan Imej
Confident Level	Aras Keyakinan
Type II error	Ralat Jenis ke II
User Friendly	Mesra Pengguna
Engineering Management Tool	Alat Pengurusan Kejuruteraan
Risk Scoring System	Sistem Skor Risiko
Register and Transformation	Pendaftaran dan Transformasi
Direct Mapping	Pemetaan Secara Terus
Mapping Tool	Alat Pemetaan
Slope failure Susceptibility Mapping	Petametaan Kebolehtahanan Kegagalan Cerun
Multi Layer	Pelbagai Lapisan
Hidden Layer	Lapisan yang Tersembunyi
Internal Layer	Lapisan Dalaman
Real Data	Data Sebenar
Direct Mapping	Pemetaan Secara Terus
Modelling	Pemodelan
Slope failure Susceptibility Zone	Zon Kebolehtahanan Kegagalan Cerun
Threshold Level	Takat Ambang

ABSTRAK

Penambahan tekanan bagi tujuan pembangunan di Malaysia dalam tahun kebelakangan ini disebabkan oleh pertambahan populasi dan urbanisasi telah menyebabkan pelbagai masalah yang berkaitan dengan alam sekitar antara lain seperti kegagalan cerun dan hakisan tanah. Peningkatan dalam kejadian kegagalan cerun di Malaysia menyebabkan kemusnahan kepada harta benda, nyawa dan alam sekitar. Secara statistiknya dari 26 kes kejadian kegagalan cerun yang direkodkan oleh akhbar dari tahun 1993-2002, ia melibatkan kehilangan nyawa seramai 150 orang, 30 tercedera dan beribu orang dipindahkan. Ini bermakna purata kematian bagi setiap kes ialah 6 orang. Kajian ini bertujuan mengenalpasti faktor ruangan yang menyumbangkan kepada berlakunya kegagalan cerun serta menilai tahap signifikan masing-masing dan seterusnya membentuk model ruangan kegagalan cerun menggunakan keupayaan integrasi GIS dan RS dengan model statistik regresi logistik. Sebanyak 58 kes kejadian kegagalan sebenar dan 58 kes random diwakili oleh nilai 1 dan 0 digunakan dalam pemodelan kegagalan cerun. Setiap peta pembolehubah diekstrak dengan titik kegagalan cerun bagi mendapatkan atribut setiap pembolehubah yang kemudiannya digabung membentuk satu data. Sebanyak 65.5% data kegagalan cerun digunakan bagi membentuk model manakala 34.5% lagi digunakan bagi pengujian kejitian model tersebut. Dari analisis regrasi logistik yang dijalankan, sebanyak 10 dari 14 faktor ruangan telah menunjukkan tahap signifikan di bawah 0.1 iaitu kecuraman cerun, gunatanah, aspek, kelengkungan cerun, zon degradasi, purata hujan tahunan, jarak dari jalan ke titik kegagalan cerun, jarak dari titik kegagalan cerun ke lineamen major, ketumpatan sungai dan Indeks Kerpasan Antecedent (API). Sebanyak 96.1% dari keseluruhan kes kegagalan cerun telah diramalkan betul berbanding kajian sebelumnya iaitu hanya 82.8% Pengujian model menunjukkan sebanyak 80% kes kegagalan cerun telah dikelaskan secara betul. Berdasarkan nilai R^2 yang diperolehi, model ini hanya menerangkan sebanyak 83% sahaja dari keseluruhan faktor yang mempengaruhi kegagalan cerun. Analisis sensitiviti pula menunjukkan ketepatan ramalan dan ketepatan ujian secara amnya tidak menunjukkan perubahan yang ketara apabila kombinasi lokasi dan jumlah data random yang berlainan digunakan. Model statistik regresi logistik kemudiannya ditukar dalam bentuk probabiliti yang menghasilkan nilai yang berjulat dari 0 hingga 1. Nilai 0 merujuk kepada tiada kejadian kegagalan cerun diramalkan berlaku sementara nilai 1 pula menunjukkan kebarangkalian untuk berlakunya kegagalan cerun adalah tinggi. Hasil akhir ialah dalam bentuk pemetaan Zon Kebolehpayaan Kegagalan Cerun (*Slope failure Susceptibility Zone*).

Development of Slope Failure Spatial Model for Upper Sub-Basin of Langat River

ABSTRACT

Increasing pressure for development in Malaysia in recent years due to rapid population growth and urbanization has caused numerous environmental related problems such as slope failure and soil erosion. Increasing of slope failure event in Malaysia has caused degradation to properties, life and environment. Statistically, from 26 slope failure cases recorded in press within 1993 – 2002, 150 died, 30 were injured and thousands were evacuated. This means there are 6 deaths in each case. The objective of this study is to measure spatial factors and their significance that contribute to slope failure and then model the slope failure using integrating GIS and RS technology with statistical logistic regression analysis. 58 slope failure cases and 58 random cases represent 1 and 0 value being used to build the model. Each causative factor mapped and extracted by slope failure point to get attributes from each map. Attributes from each map join together to produce slope failure database. 65.5% of the data was used to develop the model and 34.5% to test the model. From logistic regression analysis, 10 over 14 spatial causative factors have shown the significant value under 0.1 such as slope steepness, landuse, aspect, curvature, degradation zone, annual mean rainfall, shortest distance from slope failure to road, shortest distance from slope failure to major lineament, river density and Antecedent Precipitation Index (API). 96.1% cases were predicted correctly compared to previous study which reached only 82.8%. Model test showed 80% of slope failure cases were predicted correctly. According to R^2 value, the model only explained 83% from overall factors that contributed to slope failure. Sensitivity analysis explained that predicted accuracy and test accuracy do not show any significant differences when combination of location and random sample chosen are different. Statistical logistic regression model then is converted to probability which range from 0 (not occur) to 1 (occur). The final product is Slope failure susceptibility zone map.

BAB SATU

PENGENALAN

1.1. Latarbelakang

Dalam menuju wawasan 2020 iaitu ke arah mencapai status negara maju, persiapan dari segi ekonomi, politik dan sosial rancak dijalankan oleh kerajaan Malaysia. Pertumbuhan penduduk mencapai angka 24 juta pada tahun 2000, meningkatkan permintaan terhadap kawasan penempatan, perindustrian, pertanian dan pembangunan prasarana lain bagi membiayai kekuatan tampung kesan pertambahan penduduk.

Kesan dari ini, sistem fizikal sesuatu lembangan juga akan bertukar sebagai contoh modifikasi yang dilakukan terhadap kitaran hidrologi kesan dari penyahhutan, urbanisasi, pembangunan kawasan cerun bukit dan lain-lain aktiviti gunatanah akan meningkatkan risiko gelinciran tanah (Chan, 1998a) yang merupakan salah satu jenis kegagalan cerun. Negara mengalami pengalaman yang pahit apabila berlakunya kejadian kegagalan cerun yang mencatatkan sejarah hitam yang meragut banyak nyawa dan harta benda antara lain seperti kejadian Highland Towers yang berlaku pada tahun 1993, Gua Tempurung tahun 1997, Pos Depang 1996, Sandakan 1996, Bukit Antarabangsa 2002, New Klang Velly Expressway (NKVE) di Bukit Lanjan 2003 dan yang terakhir Gua Tempurung pada tahun 2004. Kejadian yang berlaku di Bukit Antarabangsa dan Highlands Towers hanya terletak beberapa ratus meter sahaja. Yang menjadi persoalan ialah mengapa kejadian yang sama boleh berlaku di kawasan yang berdekatan. Mungkinkah kejadian yang sama seperti ini akan berulang di kawasan lain serta bagaimanakah untuk memastikan kejadian yang sama tak akan berulang lagi?

Istilah tanah runtuh merupakan istilah yang selalunya digunakan di media massa bagi menerangkan kejadian kegagalan cerun. Istilah kegagalan cerun merupakan istilah saintifik yang digunakan bagi menerangkan kejadian tanah runtuh. Istilah kegagalan cerun digunakan oleh Sharpe (1968), Varnes (1978), Vender (1981) dan Brabb (1984) bagi menggambarkan pergerakan ke bawah bahan-bahan bumi di bawah pengaruh graviti yang melibatkan pelbagai jenis bahan bumi sama ada batuan, tanah atau campuran keduanya, pelbagai kedalaman dan juga pelbagai kelajuan pergerakan antara beberapa cm dalam masa setahun hingga melebihi 100 km sejam bergantung kepada kandungan air.

Statistik kajian yang dilakukan oleh Hisham (1998) di Lembah Klang mendapati kejadian kegagalan cerun yang dicatatkan dari tahun 1971 hingga 1997 ialah sebanyak 10 manakala kajian oleh Wan Ibrahim (2000) mendapati kejadian kegagalan cerun di Lembangan Langat pada tahun 1999 sahaja adalah sebanyak 4 kejadian.

Kejadian kegagalan cerun ini bukan sahaja meragut banyak nyawa dan harta-benda tetapi akan mengganggu ekosistem sesuatu lembangan. Kegagalan cerun yang berlaku di kawasan yang lebih tinggi akan mendedahkan muka bumi kepada atmosfera. Hujan akan membawa tanah menuruni cerun dan diendapkan di sungai yang sekali gus akan menjejaskan ekosistem sungai tersebut yang akan membawa kepada kemusnahan kepada flora dan fauna serta kualiti air. Ini bermakna apabila sesuatu kegagalan cerun berlaku, kesannya akan turut dirasai bukan sahaja di kawasan kejadian sahaja tetapi secara tidak langsung di bahagian hilir lembangan sungai tersebut. Walaupun mungkin kejadian kegagalan cerun itu berlaku jauh dari sistem pengairan, air hujan yang menjadi agen pengangkutan yang akan mengangkut dan mengendapkan sedimen ke kawasan yang lebih rendah dan seterusnya ke dalam sistem pengairan dengan membawa sedimen yang berada di laluan ke dalam sistem saluran tersebut.

Faktor yang mempengaruhi kegagalan cerun merangkumi faktor ruangan dan bukan ruangan. Faktor ruangan antara lain seperti topografi, kecuraman cerun, keadaan tanah, jenis gunatanah, hujan dan litologi manakala faktor bukan ruangan pula ialah faktor masa berlakunya kegagalan cerun di suatu tempat, faktor mitigasi cerun dan agensi yang terlibat dalam mitigasi cerun tersebut. Pentingnya data ruangan diambil kira adalah kerana ruangan boleh diwakilkan sebagai lapisan peta di dalam dua atau tiga dimensi yang mempunyai rujukan ruangan / geografi (Heywood, 2002) dan seterusnya boleh dianalisis dan dimodelkan. Sebagai contoh, kegagalan cerun berlaku pada tempat yang spesifik dan boleh dipetakan taburannya serta diketahui faktor-faktor ruangan yang mempengaruhi kejadian tersebut. Faktor-faktor ini kemudiannya boleh diwakilkan sebagai satu lapisan peta bagi mendapatkan atribut bagi setiap kegagalan cerun tersebut. Atribut ini akan dianalisis bagi membentuk model ruangan kegagalan cerun.

1.2. Isu dan Masalah

Kejadian kegagalan cerun di Malaysia telah mengundang banyak malapetaka yang mengakibatkan kematian, kecederaan dan kerosakan harta benda serta ekosistem. Jika tidak ditangani dengan segera serta difahami permasalahan dan isu yang timbul, maka ia akan menghakis 'habitat' manusia iaitu bumi ini. Oleh itu beberapa isu dan permasalahan telah digariskan dalam kajian ini bagi mendapat gambaran sebenar apa yang berlaku.

1.2.1. Peningkatan Kejadian Kegagalan Cerun

Jadual 1.1 dan **1.2** merupakan ringkasan tentang fenomena kegagalan cerun yang direkodkan berlaku di Malaysia antara tahun 1993 - 2002 yang bukan sahaja melibatkan kerugian harta-benda yang banyak tetapi juga melibatkan kehilangan nyawa dan merosakkan ekosistem sesuatu lembangan. Ia selalunya dikaitkan dengan aktiviti manusia itu sendiri antara lain seperti pembalakan di kawasan tanah tinggi, pembinaan di kawasan yang berisiko tinggi serta kegiatan pertanian di lereng-lereng bukit.

Akibatnya bahagian hulu lembangan akan mengalami kegagalan cerun apabila hujan turun dengan lebat yang menyebabkan aliran permukaan yang laju serta kadar infiltrasi (resipan / susupan air ke dalam tanah) yang rendah kesan dari aktiviti pembalakan dan pertanian di lereng bukit yang melibatkan penggondolan. Isipadu sungai meningkat dengan mendadak dan dasar sungai menjadi cetek akibat pemendapan sedimen yang mengakibatkan air sungai akan melimpah ke tebing. Kayu balak yang dibiarkan di tebing sungai akan diangkut dan membentuk empangan apabila dihalang oleh bongkah-bongkah batu besar yang biasanya terdapat di kawasan hulu lembangan. Apabila hujan lebat, kekuatan tampung empangan sementara ini akan bertambah dan jika dilampaui akan mengakibatkan banjir lumpur yang dahsyat seperti yang pernah berlaku di Pos Dipang pada tahun 1996, Sungkai pada tahun 2000 dan yang terakhir sekali di Kulai, Johor pada Disember 2001.

Jadual 1.1: Kegagalan cerun utama di Malaysia

Tarikh	Lokasi	Jumlah Terkorban	Jumlah Kecederaan	Jumlah berpindah
24.10.93	Km 58, Jalan Kuala Lipis-Gua Musang	1	15	10
28.11.93	Km 63, Lebuhraya KL-Karak	2	0	0
11.12.93	Highland Towers	48	0	Beratus-ratus
24.10.95	Tringkap, Cameron Highlands	1	0	0
Disember 95	Cameron Highlands	7	0	0
6.01.96	Lebuhraya Utara-Selatan (Gua Tempurung)	1	0	0
9.10.96	Kuala Terla	3	2	0
29.08.96	Pos Dipang	44	0	Berpuluh-puluh
18.10.96	Tanah Rata, Cameron Highlands	0	0	16 Keluarga
18.10.96	Gelang Patah, Johor	1	0	6
11.05.97	Pantai Dalam, KL	1	4	19 keluarga

Sumber: Chan (1998b)

Jadual 1.2: Rekod fenomena kegagalan cerun di Malaysia yang disiarkan di dada akhbar

Tarikh & Sumber	Lokasi	Jenis Bencana & Magnitud	Faktor penyebab	Kecelakaan
28.11.98 (UM, 29.11.98)	Sun Moon City, Paya Terubong	Jatuhan batuan (90 tan) dan tanah runtuh.	Hujan lebat. Penempatan di kaki bukit yang berisiko tinggi.	14 kereta, sebuah bas kilang dan sebuah motosikal tertimbus dalam satu kejadian tanah runtuh. Kejadian paling buruk di Pulau Pinang yang mengakibatkan 7,000 penghuni dalam bahaya serta jalan tertimbus.
4.12.98 (UM, 05.12.98)	Bukit Awana, Paya Terubong	Risiko jatuhan batuan	Hujan lebat. Penempatan di kaki bukit yang berisiko tinggi.	Usaha untuk mengalih bongkah batuan dengan pancutan air gagal, bongkah kemudiannya diletupkan.
8.12.98 (UM, 10.12.98)	Teluk Tempoyak, Penang	Risiko jatuhan batuan	Hujan lebat. Penempatan di kaki bukit yang berisiko tinggi.	2,500 tan bongkah batuan tergantung mengancam keselamatan 100 orang (23 keluarga).
7.2.99 (UM, 08.02.99)	Kampung Gelam, Sandakan, Sabah	Banjir lumpur dan aliran debris	Hujan lebat. Penempatan di kawasan lereng bukit cenderung untuk berlakunya gelongsoran tanah.	17 mati, 4 rumah tertimbus, 2 cedera, berpuluh penumpang terkandas dan 30 keluarga terpaksa berpindah.

Jadual 1.2: (Sambungan)

15.05.99 (UM, 16.05.99) (UM, 18.05.99) (UM, 19.05.99)	Kondominium Athenaeum dan Wangsa Heights, Bukit Antarabangsa Hulu Kelang.	Gelongsoran tanah dan hakisan	Hujan lebat. Pembinaan perumahan di kawasan berisiko tanah runtuh yang tinggi.	Bermula dengan kejadian kecil tanah runtuh, diikuti runtuhannya berukuran 15 hingga 20 meter di kawasan tebing kira-kira 50 meter dari Kondominium Wangsa Heights. Jalan ke kondo ditutup. 1000 dari 10,000 orang berpindah. 50,000 kaki ² tanah bukit di bahagian kiri dan kanan jalan tiba-tiba runtuh dan menutup jalan sepanjang 150 meter ke kawasan perumahan. Bekalan air terputus. 10 jentolak digunakan untuk pembersihan tanah.
27.11.00 (UM, 29.11.00) (UM, 18.12.00) (UM, 03.12.00)	Sungai, Perak	Banjir lumpur	Hujan lebat. Pembalakan hutan pada ketinggian 1,219.2 meter di kawasan Hutan Simpan Bukit Tapah mengalami tindak balas rantai.	9 Keluarga dipindah, 7 jambatan hanyut, 50 lori angkut kayu-kayuan yang tersangkut di jambatan, bekalan elektrik terputus, beberapa rumah ditenggelami, 114 rumah terlibat.
16.12.00 (UM, 17.12.00)	Sungai, Perak	Risiko tanah runtuh, hakisan dan banjir lumpur	Hujan lebat serta aktiviti pembalakan di hulu sungai.	Takungan air besar wujud di hulu sungai akibat pembalakan. Risiko banjir lumpur bermagnitud 2 kali ganda peristiwa yang berlaku pada 27.11.00 akan berlaku jika pembalakan terus dijalankan.
6.01.01 (UM, 7.01.01)	Kampung Lok Bono, Sepanggar Bay, Sabah	Tanah runtuh dan aliran debris	Hujan lebat disusuli pergerakan tanah dan batuan.	3 orang termasuk ibu hamil terbunuh, sebuah rumah ranap, 5 yang lain rosak teruk, 3 keluarga terperangkap apabila tanah & batu hampir merobohkan rumah mereka.
27.12.01 (UM, 31.12.01) (UM, 09.01.02)	Kampung Seri Gunung Pulai, Kulai, Johor.	Tanah runtuh, banjir lumpur dan aliran debris	Hujan lebat. Gelongsoran tanah pada kaki bukit Gunung Pulai menyebabkan balak dari gunung dihanyutkan oleh arus deras dan melanggar jambatan. Balak menyekat aliran air sungai menyebabkan ia berlumpur. Tiada pembalakan haram dilaporkan.	5 orang terbunuh apabila rumah mereka yang terletak di kaki Gunung Pulai dihanyutkan arus deras. 14 orang diselamatkan apabila rumah mereka dihanyutkan banjir lumpur. 3 tercedera. Mangsa yang terselamat dipindahkan. Taman Rekreasi Gunung Pulai ditutup. 2 kereta & sebuah lori dihanyutkan.
28.01.02 (UM, 29.01.02)	Kampung Ruan Changkor, Simunjan, Kuching.	Tanah runtuh	Hujan lebat serta kegiatan pertanian di kawasan tanah tinggi.	16 terkorban, 4 parah serta rumah panjang 17 pintu tertimbus dan diheret 70m.

Jadual 1.2: (Sambungan)

27.11.03 (UM, 28.11.03)	Km 28.1, NKVE, Bukit Lanjan.	Runtuhan tebing (batuan)	Hujan lebat.	Bongkah batuan terpaksa diletupkan, 23,000 tan metrik ketulan kecil dan debris dibawa keluar, NKVE ditutup 7 bulan.
11.10.04 (UM, 12.10.04) (UM, 14.10.04)	Km 302 PLUS, 1.8km dari runtuhan yang berlaku pada Januari 1996.	Banjir lumpur	Hujan lebat, limpahan takungan air di puncak bukit bersebelahan (takungan air berbentuk y).	4 kenderaan termasuk lori terperangkap. Laluan trafik sesak teruk, seorang pemandu motosikal patah kaki dan seorang pemandu kereta cedera ringan.
Tidak berkenaan (UM, 19.06.00), (UM, 20.06.00)	PLUS	Risiko tanah runtuh	Hujan, hakisan gegeluk (<i>gully</i>).	149 kawasan Lebuhraya Utara - Selatan berisiko tinggi, Perak dan Selangor paling berisiko. Bulan Oktober paling berisiko akibat curahan hujan yang tinggi.

Sumber: Ubahsuai dari Utusan Malaysia (UM)

Jadual 1.3 menunjukkan peristiwa kegagalan cerun yang direkodkan oleh akhbar tempatan iaitu Star dan New Straits Times (NST) yang berlaku di Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat dan kawasan bersempadan dengannya. Pada bulan Mac hingga Mei tahun 1999 sahaja, sebanyak 4 kejadian kegagalan cerun telah dilaporkan yang melibatkan kehilangan nyawa dan harta benda serta kejadian pencemaran air yang serius akibat penyahhutan yang berlaku di kawasan tersebut.

Jadual 1.4 pula menunjukkan dua kajian yang pernah dilakukan di kawasan yang sama, di mana ia menunjukkan kegagalan cerun di kawasan tersebut secara keseluruhannya mempunyai isipadu kegagalan yang kecil sehingga sederhana. Walaupun statistik di kawasan berkenaan menunjukkan bilangan kejadian kegagalan cerun berisipadu besar adalah kurang, tetapi jika kes-kes yang terpencil ini berlaku, ia akan menyebabkan kesan yang meluas melibatkan kerosakan kepada ekosistem sesuatu lembangan. Isipadu yang kecil juga, sekiranya berlaku secara berterusan dan tanpa kawalan akan menyebabkan kesihatan ekosistem akan terganggu.

Jadual 1.3: Rekod kegagalan cerun di Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat

Jenis Kegagalan Cerun (sumber)	Tarikh	Tempat	Catatan	Kerosakan
Banjir lumpur (NST, 20.04.99)	Mac, 99	Hutan Simpan Bukit Sungai Puteh, Selangor	Kerja pembersihan hutan, mitigasi (perangkap lumpur) tak sesuai, berlaku beberapa aliran lumpur di taman Cupecs.	Perangkap pecah menyebabkan banjir lumpur.
Aliran debris (Star, 13.03.99); (NST, 10.3.99)	13.03.99	Semenyih-Kajang Rock Quarry	Beberapa tan tanah, batuan dan debris longgar dibawa menuruni cerun oleh hujan lebat.	Seorang mekanik terperangkap.
Aliran lumpur (NST, 24.05.99)	Mei, 99	Bandar Mahkota, Cheras	Tanah dibersihkan menyebabkan hakisan yang mengimik alam sekitar.	Sungai Langat berlumpur dan kualiti air tercemar.
Aliran lumpur (NST, 16.05.99)	15.5.99	Sungai Jelok, Kajang	Aliran lumpur selepas hujan lebat.	Rumah musnah, nenek berusia 52 tahun meninggal.

Sumber: Wan Ibrahim (2000)

Jadual 1.4: Rekod isipadu dan saiz kegagalan cerun di Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat

Jenis Kegagalan Cerun <i>Kawasan Bangi (1987)</i>	Isipadu Kegagalan Cerun (m ³)			Jumlah
	< 50 (Kecil)	50-500 (sederhana)	> 500 (Besar)	
Gelinciran tanah	*	13	4	17
Gelongsoran tanah	*	1	2	3
Jatuhan batuan	*	1	0	1
Kegagalan hakisan	*	14	1	15
Jumlah	40	29	7	36
<i>Kawasan kajian (2000)</i>				
Aliran tanah	1	0	0	1
Gelinciran batuan	7	4	2	13
Gelinciran tanah	1	1	2	4
Gelongsoran tanah	10	9	2	21
Jatuhan tanah	25	1	0	26
Kompleks	2	2	1	5
Jumlah	46	17	7	70

* Data dinyatakan dalam bentuk jumlah sahaja. Perincian data bagi setiap jenis kegagalan cerun tidak dinyatakan

Sumber: Diubahsuai dari Komoo (1987) dan Wan Ibrahim (2000)

Dari kejadian kegagalan cerun yang berlaku di Malaysia dari tahun 1993 hingga 2002, sebanyak 26 kejadian kegagalan cerun telah dilaporkan dan direkodkan oleh akhbar tempatan, seramai 150 orang mati dan 30 yang lain cedera serta beribu-ribu orang telah dipindahkan. Dari statistik yang direkodkan tersebut, secara puratanya seramai 6 orang mati dalam setiap kes kejadian kegagalan cerun yang berlaku. Ini tidak termasuk kerosakan dari segi harta benda dan jumlah mereka yang dipindahkan bagi setiap kes.

1.2.2. Kejadian Kegagalan Cerun Berulang di Kawasan yang Sama atau Berdekatan

Prof. Ibrahim Komoo dan Prof. Roslan Zainal Abidin (Utusan Malaysia, 14 Oktober 2004) menyatakan kawasan yang telah mengalami kejadian kegagalan cerun jenis banjir lumpur dari segi geologinya tidak mungkin akan berlaku sekali lagi kejadian tersebut kerana bebanan yang terkumpul berupa lumpur, bongkah batuan dan batang pokok sudah dibawa turun dalam kejadian banjir lumpur tersebut dan kawasan berkenaan dikira stabil. Kes ini hanya benar bagi kegagalan cerun jenis banjir lumpur sahaja. Ini bermakna hanya kawasan yang spesifik iaitu kawasan yang telah dibebaskan bebanan sahaja yang dianggap stabil dari segi geologinya manakala kawasan yang bersebelahan pula tidak terkecuali. Ini terbukti dengan kejadian banjir lumpur yang berulang berlaku di kawasan yang berhampiran sebagaimana berlaku di Sungkai dan Gua Tempurung.

Kegagalan cerun jenis banjir lumpur ada di antaranya yang berlaku di kawasan yang berhampiran seperti di Sungkai, Perak. Pada 27 November 2000, telah berlaku banjir lumpur di kawasan Sungkai yang melibatkan 114 keluarga dan sembilan keluarga telah dipindahkan. Tidak sampai sebulan dari tarikh kejadian tersebut iaitu pada tanggal 16 Disember tahun yang sama, kejadian yang sama dan bermagnitud lebih besar dilaporkan berlaku akibat kerja-kerja pembersihan hutan di kawasan hulu lembangan tersebut. Kejadian banjir lumpur di km 302 Lebuhraya Utara Selatan (PLUS) dekat Gua Tempurung pada 11 Oktober tahun 2004 merupakan ulangan kepada peristiwa yang sama yang pernah berlaku pada Januari 1996 yang melibatkan seorang terbunuh yang mana jarak di antara dua kejadian tersebut hanya 1.8 km di antara satu sama lain.

Sementara itu kejadian kegagalan cerun di Bukit Antarabangsa pula boleh dilihat sebagai kejadian ulangan kepada tragedi ngeri yang berlaku di Highland Towers pada tahun 1993. Ini kerana kedua-dua kejadian hanya terletak bersebelahan iaitu beberapa

ratus meter sahaja. Menurut Prof. Ibrahim Komoo iaitu seorang pakar geologi kejuruteraan, kawasan Bukit Antarabangsa merupakan kawasan yang pernah berlaku beberapa kejadian kegagalan cerun sebelum tahun 1993, kemudian disusuli kejadian tanah runtuh besar di Highland Towers pada 1993 di mana keadaannya hampir sama (Utusan Malaysia, 18 Mei 1999). Kejadian tanah runtuh di kawasan Bukit Antarabangsa telah berlaku sejak tahun 1985 di mana tanah runtuh berada pada satu jajaran berarah 20 darjah (Komoo, 2002). Kedudukan tanah runtuh di Hillview pula menurut beliau terletak di dalam parut tanah runtuh lama di mana pergerakan pada sesuatu tanah runtuh lama merupakan peristiwa lazim yang sering menimbulkan bencana jika tidak diuruskan dengan berkesan (Komoo, 2002).

Berulangnya peristiwa atau bencana di kawasan yang sama atau berdekatan ini menunjukkan tiada kajian secara sistematik dan berkesan dalam mengenal pasti kawasan yang mempunyai risiko tinggi terhadap kegagalan cerun. Ketiadaan penguatkuasaan atau penguatkuasaan yang longgar sering dikaitkan sebagai suatu faktor penyumbang kepada kegagalan cerun tetapi perlu diingat bahawa penguatkuasaan juga mestilah berdasarkan kepada asas yang boleh dipegang dan diterima-pakai oleh pihak berkuasa tempatan. Oleh yang demikian perlunya kepada pemetaan atau pemodelan kawasan yang berisiko tinggi secara sistematik.

1.2.3. Kawasan Berisiko Tinggi Tidak Dikenalpasti Secara Sistematik

Masalah pembangunan di kawasan tanah tinggi antaranya seperti di Paya Terubong, Pulau Pinang, Cameron Highlands dan Bukit Antarabangsa, Hulu Kelang sepatutnya dielakkan walaupun mendapat kelulusan EIA. Ini adalah kerana kawasan ini telah diwartakan sebagai kawasan berisiko tinggi (Jabatan Pertanian, 1996). Kejadian kegagalan cerun di Highland Towers pada tahun 1993 yang mengorbankan 48 orang sepatutnya menjadi iktibar. Risiko kegagalan cerun tetap akan ada di kawasan ini

terutamanya apabila berlakunya hujan lebat yang berterusan. Di samping itu juga mitigasi cerun di kawasan tanah tinggi memakan belanja yang besar apabila berlakunya kegagalan cerun seperti yang berlaku di Athenaeum dan Wangsa Heights pada tahun 1999.

Pewartaan kawasan berisiko tinggi oleh Jabatan Pertanian pada tahun 1996, tidak memadai kerana ia lebih kepada kajian terhadap risiko hakisan tanah dan bukannya berdasarkan senario yang sebenar atau unjuran terhadap data lapangan yang sebenar. Ia lebih kepada penggunaan Universal Soil Loss Equation (USLE) yang diperkenalkan oleh Wischmeier dan Smith (1965). Walau bagaimanapun nilai kehilangan tanah hanya mengambil kira faktor R (erodibiliti), K (erosiviti) serta panjang dan kecuraman cerun (LS). Nilai faktor litupan tumbuhan (C) dan faktor pengurusan tanaman (P) tidak diambil kira.

Senario kegagalan cerun di kawasan Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat menunjukkan corak yang membimbangkan kerana pembangunan yang semakin pesat akibat kewujudan Pusat Pentadbiran Putrajaya yang menjadi pemangkin kepada pembangunan kawasan sekitarnya. Kebimbangan akan berubah menjadi tragedi jika sekiranya pembangunan yang dijalankan ini tanpa melalui pemantauan yang rapi. Dibimbangkan jika tiada usaha yang berterusan dan sistematik dalam memantau secara cekap dan cepat, maka bencana pasti akan mengundang yang bukan sahaja akan menjejaskan sub-lembangan ini tetapi Lembangan Langat secara keseluruhannya kerana bahagian hulu merupakan punca air dan sumber legeh bagi sungai yang akan mengairi keseluruhan lembangan.

Dalam konteks ini pemantauan lebih ditumpukan pada tahap pra-pembangunan dengan menyediakan peta kebolehtahanan kegagalan cerun. Sistematik ialah sesuatu yang boleh dilakukan dengan teratur dan tersusun. Ini merujuk kepada kaedah statistik

yang digunakan bagi menilai tahap signifikan yang boleh menentukan samada sesuatu pembolehubah itu diterima atau ditolak. Tahap kekuatan sumbangan setiap faktor pembolehubah terhadap kejadian kegagalan cerun boleh dikenalpasti, ketepatan ujian serta ketepatan model kegagalan cerun juga boleh dinilai secara teratur dan tersusun melalui kaedah statistik ini.

1.2.4. Wujud Kelemahan Kaedah dan Pendekatan Sedia Ada dalam Peramalan dan Pemodelan Kegagalan Cerun

Pada tahun 80an, kebanyakan kajian kegagalan cerun yang dilakukan pada peringkat nasional lebih menekankan kepada mencari faktor punca peristiwa kegagalan cerun berlaku berbanding kajian yang dijalankan untuk mengenal pasti kawasan berpotensi untuk mengalami kegagalan cerun antaranya kajian yang dilakukan oleh Muda dan Komoo (1984); Komoo (1985); Komoo (1987); Tan dan Komoo (1990) dan Wan Ibrahim (2000).

Faktor-faktor penyumbang kepada berlakunya kegagalan cerun dikenalpasti dan dijadikan panduan dalam membangunkan kawasan lain. Kajian-kajian ini telah mampu membina asas kefahaman yang kuat tentang sifat sesuatu kegagalan cerun serta 'habitatnya. Bagaimanapun ia lebih bersifat insitu dan tidak dapat diunjurkan untuk menilai risiko kegagalan cerun di kawasan lain. Kajian sedemikian akan menyatakan faktor yang menyebabkan berlakunya sesuatu kegagalan cerun tersebut terutamanya dari segi faktor geologi dan diberikan cadangan pembaikan jika ada. Pemetaan ini kebanyakannya dilakukan secara manual yang mempunyai berbagai batasan terutamanya dari segi analisis. Perkembangan dalam teknologi Sistem Maklumat Geografi (GIS) sejak kebelakangan ini menyediakan berbagai keupayaan analisis yang sukar dijalankan dengan kaedah manual. Walaupun teknologi GIS telah mula digunakan, namun ia lebih tertumpu untuk pemetaan dan paparan sahaja tetapi bukan bagi tujuan analisis. Kekurangan dalam penggunaan GIS dalam kajian sedemikian

menghalang dari analisis ruangan yang lebih komprehensif dan sistematik dalam penentuan faktor penyumbang serta penilaian risiko kegagalan cerun.

Pada tahun 90an, perkembangan penggunaan GIS serta pengalaman-pengalaman dari pengkaji sebelumnya yang telah membina asas yang kuat bagi pemahaman sifat serta keadaan yang mempengaruhi kegagalan cerun telah membantu dalam perkembangan pemetaan risiko. Pada tahun 1996, Jabatan Pertanian Malaysia telah melakukan pemetaan risiko hakisan dengan menggunakan model Universal Soil Loss Equation (USLE) yang diperkenalkan oleh Wischmeier dan Smith (1965). Ab. Talib (1997) melakukan pemetaan zon bencana menggunakan GIS dan Penderiaan Jauh (RS). Aspek peramalan kegagalan cerun dikaji oleh Ab. Talib dan Napiah (2000) dengan menyediakan pemetaan risiko kegagalan cerun di Selangor. Napiah (2002) sekali lagi menggunakan kaedah RS yang diintegrasikan dengan GIS dalam membuat penilaian faktor geologi terhadap kestabilan cerun di sekitar kawasan Kuala Kubu Bharu, Selangor. Beliau berjaya menunjukkan wujudnya perkaitan yang rapat di antara faktor geologi dan kegagalan cerun di kawasan kajian. Mohamad dan Weng (2003) telah memetakan terain kepada tahap-tahap kestabilannya. Pemetaan menggunakan GIS ini lebih bersifat sistem pengelasan gunatanah yang berdasarkan faktor kestabilan tertentu.

Kaedah penentuan indeks dan pemberat yang digunakan oleh Azlikamil Napiah dan Ab. Talib (2000) dan Napiah (2002) yang hanya bergantung kepada penentuan indeks berdasarkan pengalaman pakar semata-mata mempunyai kelemahan kerana tahap signifikan setiap faktor tidak dapat ditentukan secara objektif dan digunakan oleh pengkaji lain. Keterbatasan oleh keadaan cuaca, hujan dan morfologi yang berbeza juga perlu diambil kira kerana pemberat biasanya diambil dari literatur oleh pengkaji yang berbeza di lapangan yang berlainan. Walaupun indeks ditentukan oleh seorang pakar yang sama, kemungkinan pakar yang berlainan dalam bidang yang sama akan

memberikan nilai indeks yang berlainan tetap ada. Purata nilai pemberat mengikut keutamaan boleh digunakan, tetapi tahap signifikan setiap faktor masih juga tidak dapat dinilai.

Kegagalan GIS menganalisis dan meramalkan masalah ruangan yang kompleks memerlukan integrasi GIS dengan model-model luaran yang lain (Parks, 1993) yang mana teknologi ini saling lengkap melengkapi di antara satu sama lain (Gimblett et al, 1994). Antara model yang berkesan ialah model statistik.

1.3. Matlamat dan Objektif

Dari permasalahan yang dinyatakan di atas, matlamat kajian tesis ini adalah untuk membentuk model ruangan peramalan kegagalan cerun. Tahap pertama kajian ialah penentuan pengaruh faktor-faktor yang terlibat manakala pada tahap yang kedua kajian ditumpukan dalam pembentukan model kegagalan cerun. Untuk mencapai matlamat yang dinyatakan di atas, beberapa objektif telah digariskan seperti berikut:

- **Mengenal pasti Faktor Ruangan yang Mempengaruhi Kegagalan Cerun**

Faktor ruangan yang mempengaruhi kegagalan cerun adalah pelbagai. Ia bergantung kepada kawasan kajian yang dijalankan. Sebagai contoh, bagi kawasan yang bebas dari tektonik aktif, faktor gempa bumi kurang penting. Oleh itu adalah penting menentukan faktor ruangan mana yang mempengaruhi kejadian kegagalan cerun. Faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian kegagalan cerun akan dinilai tahap signifikannya dari segi statistik untuk mengetahui sama ada sesuatu faktor itu mempengaruhi kegagalan cerun atau tidak. Faktor ruangan ini perlu dikenalpasti untuk melihat tahap kekuatan sumbangan setiap faktor terhadap kejadian kegagalan cerun. Ini adalah penting

untuk mengetahui faktor ruangan mana yang merupakan faktor utama serta faktor lain yang signifikan yang bertindak bersama bagi menyediakan satu keperluan terhadap cara mitigasi sesuatu cerun.

- **Membentuk Model Ruangan Kegagalan Cerun**

Terdapat banyak model yang digunakan dalam pembentukan model ruangan kegagalan cerun. Kepelbagaian ini menggambarkan kelenturan yang wujud dalam menentukan faktor pembolehubah yang boleh diambil kira dalam pembangunan model ruangan ini. Kajian ini akan menggabungkan faktor fizikal, faktor lokasi dan faktor aktiviti manusia bagi membentuk model ruangan kegagalan cerun. Model statistik yang dibangunkan boleh menilai peranan setiap faktor serta tahap sumbangannya terhadap kejadian kegagalan cerun. Faktor ruangan yang signifikan akan digabungkan dengan tahap sumbangan masing-masing bagi membentuk peta hasil akhir. GIS menyediakan pangkalan data ruangan kejadian kegagalan cerun serta faktor-faktor ruangan yang terlibat. Pangkalan data akan diubah ke dalam format tertentu bagi menjalankan analisis statistik untuk menghasilkan model statistik. Model statistik akan menyediakan suatu perhubungan di antara kegagalan cerun yang merupakan pembolehubah bersandar dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan cerun yang merupakan pembolehubah tak bersandar

- **Menghasilkan Peta Kebolehtahanan Kegagalan Cerun Kawasan Kajian Serta Pengezonannya**

Integrasi GIS yang mampu mengolah data ruangan yang berkaitan dengan kegagalan cerun dan seterusnya diintegrasikan dengan kaedah statistik boleh menunjukkan tahap signifikan bagi setiap faktor. Ini adalah penting untuk pembentukan model ruangan kegagalan cerun dalam bentuk peta

kebolehtahanan kegagalan cerun. Bagi menghasilkan peta akhir ini, setiap peta faktor yang signifikan dengan tahap sumbangan yang tertentu digabungkan dengan menggunakan analisis tindakan yang diperoleh hasil interpretasi dari kaedah statistik melalui analisis tindakan GIS. Peta kebolehtahanan kegagalan cerun ini seterusnya akan dibahagikan kepada beberapa zon berdasarkan tahap kemungkinan sesuatu kegagalan cerun itu boleh berlaku. Zon merujuk kepada pembahagian tanah secara homogen dan pengelasan berdasarkan kepada darjah sebenar atau potensinya yang disebabkan oleh kegagalan cerun (Varnes, 1984a). Bencana kegagalan cerun biasanya ditunjukkan pada peta, di mana ia memaparkan taburan secara ruangan beberapa zon bencana dari kelas rendah, sederhana sehingga tinggi. Pengezonan kegagalan cerun memerlukan pengetahuan secara terperinci tentang proses-proses, fungsi, magnitud faktor-faktor yang terlibat dan potensi yang boleh menyebabkan kemusnahan akibat darinya.

1.4. Skop Kajian

Aspek-aspek yang membatasi kajian adalah seperti yang dinyatakan di bawah:

- Pemodelan hanya bagi kawasan kajian iaitu Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat. Dari lima sub-lembangan yang terdapat dalam Lembangan Langat, Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat dipilih untuk kajian kegagalan cerun kerana sifat fizikal yang ditunjukkan oleh sub-lembangan ini hampir sama dan boleh mewakili Lembangan Langat secara keseluruhannya. Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat merupakan satu sistem dalam Lembangan Sungai Langat. Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat menganjur dari garisan latitud 400 000 T hingga 440000 T dan longitud 310000 U hingga 370000 U yang meliputi keluasan 69258.2 hektar. Ia terletak dalam negeri

Selangor dan di sempadani oleh Lembangan Sungai Pahang di timur dan Lembangan Sungai Kelang di utara. Terdapat lima mukim dalam Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat iaitu mukim Hulu Langat, Kajang, Dengkil, Cheras dan sebahagian kecil Petaling. Kawasan kajian ditunjukkan oleh **Rajah 1.1.**

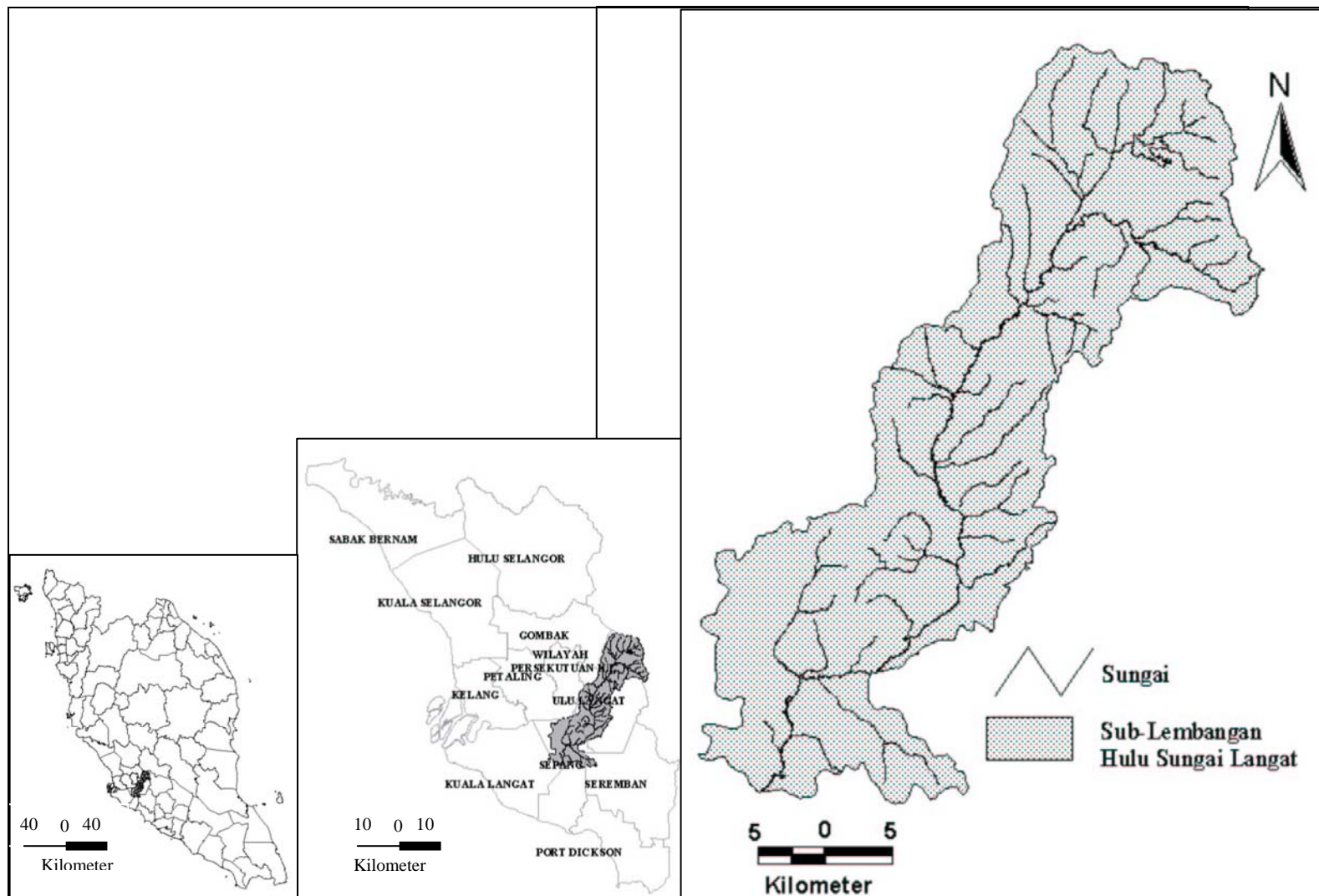
- Perwakilan kegagalan cerun di lapangan diwakili oleh titik di dalam peta pada skala 1: 50,000. Penentuan titik kegagalan cerun berdasarkan kepada bentuk kepala kegagalan cerun tersebut yang menjadi punca kepada berlakunya kejadian kegagalan cerun berkenaan.
- Kegagalan cerun yang dikaji hanya terhad di kawasan cerun potongan atau tabii (semulajadi) sahaja dan tidak termasuk cerun tambakan. Ini adalah kerana pada cerun tambakan faktor ruangnya lebih kepada faktor buatan manusia yang mereka bentuk cerun termasuk bahan yang digunakan dan ini akan menyukarkan analisis untuk menilai faktor ruangan mana yang dominan dalam menyumbang kepada berlakunya kejadian kegagalan cerun. Bagi cerun potongan dan cerun tabii pula faktor fizikalnya masih kekal dan tidak banyak berubah antara lain faktor geologi, tanah dan lineamen.
- Dalam mencapai objektif yang telah dinyatakan, imej satelit digunakan untuk menghasilkan lapisan peta seperti peta lineamen dan gunatanah. Kegagalan cerun diwakili dalam bentuk titik, maka andaian dibuat bahawa setiap titik kegagalan cerun itu mewakili satu piksel yang berkeluasan 30m x 30m Walaupun sepatutnya kejadian kegagalan cerun yang mempunyai keluasan 30m x 30m atau lebih sahaja dipilih tetapi kebanyakan kejadian kegagalan cerun di kawasan kajian mempunyai keluasan yang kecil iaitu

kurang dari 30m x 30m. Andaian yang dibuat ialah kawasan sekitar kejadian kegagalan cerun tersebut mempunyai ciri-ciri fizikal dengan kawasan yang mengalami kegagalan cerun. Andaian juga dibuat yang mana kegagalan cerun adalah disebabkan oleh faktor-faktor ruangan yang mempengaruhi kejadian kegagalan cerun tersebut dan kegagalan cerun pada masa hadapan boleh berlaku dalam keadaan yang sama dengan kegagalan cerun lepas (Chung dan Fabbri, 1999). Ini bermakna dengan menggunakan faktor ruangan yang sama, kegagalan cerun yang akan berlaku di masa hadapan dapat diunjurkan.

1.5. Kepentingan Kajian

Kepentingan kajian ialah menghasilkan peta kebolehtahanan kegagalan cerun secara sistematik, konsisten dan memperbaiki teknik pemetaan kegagalan cerun yang sedia ada. Dalam konteks pemetaan kegagalan cerun, sejarah kejadian kegagalan cerun di kawasan kajian direkodkan bagi mengetahui secara terperinci faktor ruangan yang menyumbangkan kepada berlakunya kegagalan cerun di kawasan terbabit dengan menandakan titik kegagalan cerun dengan faktor ruangan yang dikenalpasti sebagai penyumbang kepada berlakunya kejadian kegagalan cerun di kawasan kajian. Di samping itu titik random bagi mewakili titik yang tidak berlaku kejadian kegagalan cerun digunakan bagi mengetahui faktor ruangan yang mempengaruhinya. Oleh yang demikian, zon kegagalan cerun dapat dipastikan dengan sistematik dan merangkumi kawasan yang lebih luas.

Model kegagalan cerun yang dihasilkan dalam kajian ini menggunakan kaedah statistik yang diintegrasikan dengan GIS bagi meramal kawasan yang berpotensi untuk



Rajah 1.1: Lokasi kawasan kajian di Sub-Lembangan Hulu Sungai Langat

mengalami kegagalan cerun di kawasan kajian. Model ini penting dalam penilaian kestabilan sesuatu cerun terutamanya untuk pembangunan, pemantauan atau bagi tujuan pembaikan sesuatu cerun. Kajian ini juga dapat meningkatkan lagi penggunaan GIS dan RS dalam kajian pemodelan kegagalan cerun.

Kajian ini merupakan sebahagian dari usaha pengurusan bencana kegagalan cerun di Malaysia. Kawasan yang dikenalpasti mempunyai potensi yang tinggi untuk mengalami kegagalan cerun merupakan kawasan bahaya yang mesti dipantau oleh pihak yang terbabit. Dengan mengenal pasti kawasan ini, pemantauan kegagalan cerun dapat dilakukan dengan lebih mudah dan cekap serta menjimatkan masa kerana hanya cerun- cerun tertentu yang berpotensi tinggi untuk gagal sahaja perlu diberi keutamaan untuk dipantau.

1.6. Organisasi Penulisan Tesis

Tesis ini terdiri daripada enam bab. Kandungannya diringkaskan seperti berikut:

Bab pertama membincangkan perkara-perkara yang berkaitan pengenalan, isu dan permasalahan yang berkaitan kegagalan cerun. Objektif, skop dan kepentingan kajian digariskan supaya kajian yang dilakukan nanti akan mencapai sasaran yang telah ditetapkan.

Bab kedua membincangkan tentang kajian literatur dari pengkaji terdahulu yang dijadikan sebagai asas kepada pembinaan model kegagalan cerun. Model-model terdahulu diteliti kerana ia penting dalam pengembangan model yang akan dibentuk nanti. Pengkaji menerangkan model kegagalan cerun sedia ada dan menilai sejauh mana penggunaan GIS dapat membantu meningkatkan keupayaan analisis ruangan kegagalan cerun.

Bab ketiga menghuraikan rangka konseptual secara keseluruhan yang akan digunakan untuk mencapai objektif dan matlamat yang telah digariskan dalam bab pertama. Bab ini juga akan menghuraikan secara terperinci faktor-faktor ruangan yang dicadangkan mempengaruhi kegagalan cerun.

Bab keempat akan menghuraikan metodologi secara terperinci serta cara pangkalan data ruangan dibangunkan. Modul perisian serta perkakasan dijelaskan di dalam bab ini. Pangkalan data ini penting bagi tujuan analisis di dalam bab lima. Model ruangan hasil daripada analisis ruangan serta pengujian model akan dijelaskan dalam bab lima ini.

Bab kelima membincangkan bagaimana pemodelan kegagalan cerun dibangunkan dengan menggunakan kaedah statistik. Model yang melibatkan persamaan matematik yang mengaitkan faktor-faktor yang menyumbangkan kepada berlakunya kegagalan cerun diuji tahap signifikannya. Seterusnya ketepatan model dan ketepatan ujian akan diperoleh bagi memastikan tahap kejituan model yang dibangunkan. Analisis sensitiviti akan dijalankan bagi melihat sama ada ketepatan model dan ketepatan ujian akan mengalami perubahan jika sampel yang berbeza lokasi digunakan. Akhirnya pemetaan peramalan kegagalan cerun dibangunkan berdasarkan model statistik ini.

Sebagai penutup, kesimpulan dan perbincangan tentang tahap pencapaian tesis secara keseluruhan dihuraikan. Ini termasuklah sumbangan tesis ini terhadap bidang keilmuan. Cadangan tentang prospek kajian seterusnya juga dicadangkan.

BAB DUA

SOROTAN LITERATUR

2.1. Pengenalan

Bab ini dibahagikan kepada dua bahagian utama. Bahagian pertama membincangkan tentang kajian literatur mengenai kegagalan cerun, proses-proses yang terlibat, faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian kegagalan cerun serta teknik pemetaan. Bahagian kedua pula memfokuskan kepada penggunaan Sistem Maklumat Geografi (GIS) serta Penderiaan Jauh (RS) dalam kajian kegagalan cerun. Dalam bab ini juga diuraikan tentang konsep dan pendekatan yang digunakan dalam penilaian kestabilan cerun serta metodologi-metodologi yang digunakan bagi tujuan tersebut yang mana penekanan diberikan kepada metodologi yang berasaskan GIS dan RS.

2.2. Kegagalan Cerun

Kegagalan cerun merupakan proses degradasi yang merosakkan permukaan bumi. Ia merupakan satu proses tindakan yang dikenakan ke atas muka bumi sama ada secara semulajadi atau tindakan luaran, hasilnya tindak balas dihasilkan dalam bentuk susutan darat yang akan mengembalikan semula kestabilan sesuatu cerun tersebut.

Kajian pemodelan kegagalan cerun menggunakan GIS memerlukan kepakaran di dalam pelbagai bidang. Kegagalan cerun melibatkan pelbagai faktor yang mempengaruhi kestabilan sesuatu cerun. Untuk menilai setiap faktor ini, ia memerlukan kepakaran tertentu. Sebagai contoh untuk menilai faktor keselamatan (FS) memerlukan kajian terhadap bidang mekanik tanah secara terperinci. Bagi menilai

pengaruh fizikal seperti geologi, hidrologi tanah dan lain-lain, maka perlukan kepada kepakaran yang spesifik.

Keperluan tentang pemahaman persekitaran fizikal yang lebih menumpukan kepada fenomena geomorfologi bumi serta kaitannya dengan proses-proses pembentukannya diperlukan bagi memahami mekanisme kejadian kegagalan cerun serta kaitannya dengan faktor ruangan yang mempengaruhi kejadian kegagalan cerun. Setiap faktor ruangan yang mempengaruhi kegagalan cerun akan diwakilkan sebagai satu lapisan peta bagi mewakili keadaan fizikal sebenar bumi dan kemudian di analisis bagi mendapatkan atribut kegagalan cerun bagi setiap lapisan. Keupayaan GIS untuk mengolah dan menjana data, menganalisis, menyimpan dan mendapatkan semula data boleh digunakan bagi pemodelan kegagalan cerun kawasan kajian.

2.2.1. Proses Geomorfologi dan Kegagalan Cerun

Proses geomorfologi melibatkan semua proses secara fizikal, kimia dan biologi yang mengakibatkan perubahan kepada bentuk muka bumi (Tjia, 1987a). Untuk memahami tabiat dan kesan proses geomorfologi ke atas permukaan bumi, ia dikelaskan kepada tiga komponen utama iaitu proses eksogen dan endogen yang berlaku pada bumi dan proses yang datang dari luar bumi seperti jatuhan meteorit dan kosmos (**Jadual 2.1**).

Proses eksogen merupakan proses yang bertindak ke atas permukaan bumi. Ini termasuklah proses degradasi yang bersifat merosak, proses agredasi (membina) dan proses yang dihasilkan oleh tindakan organisma seperti manusia, haiwan dan tumbuhan (Tjia, 1987a). Umumnya proses eksogen berperanan untuk meratakan permukaan bumi. Proses endrogen pula berasal dari dalam bumi seperti berlakunya aktiviti volkanisme seperti letusan gunung berapi dan proses diastrofisme yang melibatkan canggaan ke atas permukaan bumi.

Jadual 2.1: Proses geomorfologi yang bertindak membentuk geomorfologi bumi

Pengelasan	Proses	Jenis	Agen
EKSOGEN	Degradasi (merosak)	Luluhawa Susutan darat Hakisan	Air mengalir Air bawah tanah Air laut Angin Glasier
	Agredasi (membina)	Pemendapan	
	Tindakan organisma		Manusia Haiwan Tumbuhan
ENDOGEN	Volkanisme (gunung berapi dan terobosan)		Magma, Lava Piroklas, Wap dan Gas
	Diastrofisme	Pengangkutan Penurunan Perlipatan Peretakan Penyesaran	
LUAR - BUMI	Hujan debu kosmos		Debu kosmos
	Jatuhan Meteorit		Meteorit

Sumber: Diubahsuai dari Tjia (1987a)

Kegagalan cerun merupakan satu proses geomorfologi yang bertindak ke atas permukaan bumi (eksogen) yang terhasil dari proses degradasi iaitu susutan darat. Susutan darat merupakan pergerakan ketul besar yang terdiri dari tanah, tanah bercampur batu atau batu sahaja akibat tindakan graviti (Tjia, 1987b). Susutan darat dikelaskan mengikut kelajuan pergerakan dan kadar air yang dikandungi oleh ketul yang bergerak tersebut (**Rajah 2.1**). Seseengah pengkaji menggunakan istilah pergerakan jisim untuk menghuraikan perkara yang sama dengan susutan darat. Antara pengkaji yang menggunakan istilah ini ialah van Westen (1994).

Istilah kegagalan cerun secara umumnya dikenali sebagai pergerakan cerun yang merupakan satu fenomena tabii atau cetusan manusia yang sangat kompleks di mana sebarang fenomena runtuh cerun boleh dikelaskan sebagai kegagalan cerun. Kebanyakan runtuh cerun di Malaysia lebih sesuai dikelaskan sebagai kegagalan cerun (Komoo, 1995). Oleh yang demikian dalam kajian ini, istilah kegagalan cerun sesuai digunakan bagi menggambarkan kejadian pergerakan yang berlaku pada